家畜饲喂机器人研究进展与发展展望

杨　亮，熊本海*，王　辉，陈睿鹏，赵一广

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所 动物营养学国家重点实验室，北京 100193）

摘　要：家畜养殖的生产模式已由粗放型向集约型转变，生产水平不断提高，但较低的劳动生产率和劳动力短缺等问题严重制约中国家畜养殖业的快速发展。利用现代信息和人工智能技术，研发家畜饲喂机器人，包括喂料、推料等机器人，实现数字化、智能化的家畜养殖，提高畜牧养殖生产力是解决上述问题的主要途径。为深入分析机器人技术在家畜养殖中的研究现状，本文收集了国内外家畜机器人研究实例和文献资料，从轨道式喂料机器人、自走式喂料机器人和推料机器人3个方面重点介绍家畜饲喂机器人的研究进展，分析了饲喂机器人的技术特点和实际应用情况，从技术和应用两个方面对国内外饲喂机器人进行了比较，并从战略规划制定、核心技术发展和产业发展趋势三个方面进行展望并提出发展建议，为家畜饲喂机器人在中国的进一步发展和应用提供参考。

关键词：家畜饲喂；喂料机器人；推料机器人；人工智能；数字化养殖

中图分类号：TP242.3；S817　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**SA202204001

引用格式：杨亮，熊本海，王辉，陈睿鹏，赵一广. 家畜饲喂机器人研究进展与发展展望[J]. 智慧农业(中英文)，2022，4(2)：86-98.

YANG Liang, XIONG Benhai, WANG Hui, CHEN Ruipeng, ZHAO Yiguang. Research progress and outlook of livestock feeding robot[J]. Smart Agriculture, 2022, 4(2): 86-98. (in Chinese with English abstract)

1　引　言

畜牧业是劳动密集、劳动环境差、劳动强度大的行业，作为畜牧业养殖大国，中国传统养殖模式向装备化、智能化方向发展的需求日益强烈。2021年国家发布的《关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》提出，要提高农机装备自主研制能力，支持高端智能农机装备研发制造。农业农村部《关于落实好党中央、国务院2021年农业农村重点工作部署的实施意见》再次强调提升物质技术装备水平，强化现代农业基础支撑，大力推进农业机械化以及加快发展智慧农业等诸多农机农技推广新举措，中国畜牧养殖机械产业特别是畜牧机器人产业迎来重要机遇期[1]。

区别于工业机器人，农业机器人作为一种新型智能农业机械装备，集成了智能监测、自动控制、图像识别、环境建模算法、感应器、柔性执行等先进技术[2]。荷兰、英国等发达国家从20世纪初期开始畜牧机器人的研发工作，一定程度上解决了劳动力短缺的问题，挤奶机器人和消毒机器人发展比较迅速。饲喂机器人主要应用于家畜的饲养管理过程，目的是提高动物的采食量，有效避免由于夜间拢料不及时导致的奶牛产奶量

收稿日期：2022-03-01

基金项目：国家重点研发计划课题（2021YFD2000804）；重庆市重点课题（cstc2019jscx-gksbX0091）；动物营养学国家重点实验室课题（2004DA125184G2104）

作者简介：杨 亮（1980—），男，博士，研究员，研究方向为智慧畜牧业。E-mail：yangliang@caas.cn

*通信作者：熊本海（1963—），男，博士，研究员，研究方向为畜牧信息与装备。E-mail：xiongbenhai@caas.cn

低等状况。随着信息技术、人工智能、传感技术的发展，饲喂机器人向着更加智能的方向发展，能够更好地满足动物的福利，减少对环境的污染，解放劳动力。尤其国外养殖企业的机械化普及率较高，养殖企业“机器换人”“无人值守”的现象比较普遍。在养殖场建设过程中，配置了各种现代机械设备，特别是在劳动力需求较大的饲喂过程，通过喂料机器人的应用，可以有效减少劳动力的投入，提高家畜饲喂的效率和精确性，为家畜养殖企业的高质量发展提供了技术和装备支撑。

近年来，中国家畜养殖向规模化养殖模式发展，奶牛年存栏100头以上的比重，从2005年的11.2%提升到了2020年的67.2%[3]。家畜养殖水平不断提升，机械化、智能化养殖装备在养殖场得到了一定的应用。然而，从整体上看中国的畜牧机器人研究和应用还处于萌芽状态。加快家畜饲喂机器人的研发与应用，对提高中国家畜养殖效率，减少劳动力，支撑现代畜牧业发展有重要意义。为深入分析机器人技术在家畜养殖中的研究现状，促进中国家畜饲喂机器人发展，本文主要介绍家畜喂料机器人和推料机器人的研究进展、技术特点与应用情况，从技术和应用两个方面对国内外饲喂机器人进行比较，从战略规划制定、核心技术发展、产业发展趋势三个方面进行展望并提出建议，为家畜饲喂机器人在中国进一步发展和应用提供参考。

2　喂料机器人

喂料机器人是一种可以替代畜牧养殖工人、具备一定独立决策能力的智能喂料设备，是实现畜牧业自动化、集约化发展过程中的关键装备，分为轨道式喂料机器人和自走式喂料机器人两种。在奶牛饲养过程中，主要通过提高奶牛的采食量来提高其健康水平，从而提高奶牛的生产能力和产奶量。荷兰、加拿大等国家研制出的比较典型的喂料机器人产品可以创建从饲料车间到养殖区域的运行路线，利用超声波传感器等实现避障功能，通过配置的料斗给牛棚中等待采食的奶牛分发饲料，实现牛群全天候获取新鲜饲料。

2.1 轨道式喂料机器人

轨道式喂料机器人是指运行在固定轨道上实现对家畜饲喂功能的一类机器人，可细分为悬挂式和地轨式两种。喂料机器人沿着固定轨道自动运行，对目标动物进行识别，对自身进行定位，通过预设程序精确完成饲料的投放，实现对家畜的精准饲喂。

2.1.1　国外研究进展

轨道式喂料机器人在国外养殖企业应用比较普遍，其中多数采用的是悬挂式轨道。荷兰 Trioliet 公司、加拿大 Rovibec 公司和奥地利 Hetwin 公司在轨道式饲喂机器人领域技术积累较为成熟，已有多款产品实现产业化应用。

荷兰 Trioliet 公司研制了两款轨道式喂料机器人，型号分别为 Triomatic HP2300[4] 和 Triomatic WP2300[5]。图 1 所示的 Triomatic HP2300 是一款悬挂式饲喂机器人，即采用悬挂系统在畜舍内轨道上运行工作，悬挂系统可以自行调节高度，有效躲避畜舍内障碍物，喂料机器人通过与固定式搅拌站、饲料仓房结合，在不锈钢搅拌罐中可以装载容积为 3 m^3的饲料，实现无极变速控制左右两侧的双向发料，系统设置有触摸屏和操作终端。同时在机器人的下端设置有推料装置，可以将远离奶牛的饲料推回可采食区，满足奶牛的饲喂需求。

图 2 所示的 Triomatic WP2300 是一款四轮式饲喂机器人，即通过四个轮子移动，其中两个为驱动轮，可以很容易地驱动机器人在饲喂通道周围移动。在饲喂机器人内部，设置有两个立式搅拌铰龙和一个双向发料带，容积同样为 3 m^3，最大载料重为 900 kg。机器人的电能来源于上方的电源轨道，持续的供电方式保证机器人正常工作。为方便应对养殖场内的特殊路况，Triomatic WP2300 饲喂机器人可以应对高达5%的坡度和 5 cm 的门槛。

加拿大 Rovibec 公司研制了四款轨道式喂料



图1　荷兰Trioliet公司研制的Triomatic HP2300悬挂式喂料机器人
Fig. 1 Triomatic HP2300，Trioliet，The Netherlands



图2　荷兰Trioliet公司研制的Triomatic WP2300轮式喂料机器人
Fig. 2 Triomatic WP2300，Trioliet，The Netherlands



图3　加拿大Rovibec公司研制的Rover MVR轮式喂料机器人
Fig. 3 Rover MVR，Rovibec，Canada

机器人，型号分别是Rover MVR[6]、ROV[7]、DEC SR[8]和DEC HDR[9]。图3所示Rover MVR的装载饲料容积为3.4 m^3，在不需要任何人工的干预下，可以实现自行装入饲料、混合饲料、分配饲料的功能，牛场管理员可以设定投喂的饲料配方、饲喂次数、饲喂时间等基本参数。机器人通过上方的导轨供电，保证运行的稳定性和持久性。四轮转向由液压动力驱动，能够实现可变的前进速度和下料速度。机器人的底部设置有饲料推料铲，可以将远离奶牛采食区间的饲料推回到奶牛可采食区域。应用该机器人可优化牛群健康和生产力，同时减少相关的劳动力。

图4所示ROV轨道喂料机器人为低功率消耗量，可以采用2～12 V的电池驱动，料仓内设置不同大小的8个分区，存储8种谷物或矿物质的补充物，最大存储量为1000 kg，根据每头奶牛的基本状况分发不同的补充物质，从而有效提高牛奶中相应的营养成分。

图5所示DEC SR为悬挂式喂料机器人，采用2.2 kw低功率的电动机，后台设置不同的饲喂曲线和饲料配方，可以满足300头奶牛自由采食。

图6所示DEC HDR为一款悬挂式轨道喂料机器人，基本适用于所有路况的养殖场，饲料容量为3.4 m^3，可以自行管理、准备、分发全混合日粮（Total Mixed Ration，TMR）饲料，在无需人工干预下自由饲喂300头奶牛，并生成相应的饲喂管理曲线。机器人采用低功率模式，只需一台3.8 kw的发动机即可。

奥地利Hetwin公司研制了2款轨道式喂料机器人，分别是ARAMIS II[10]和ATHOS[11]。图7所示ARAMIS II是欧洲首款自动供应精饲料、干



图4　加拿大Rovibec公司研制的ROV轨道式喂料机器人
Fig. 4 ROV，Rovibec，Canada



图5　加拿大Rovibec公司研制的DEC SR悬挂式喂料机器人
Fig. 5 DEC SR，Rovibec，Canada



图6　加拿大Rovibec公司研制的DEC HDR悬挂式喂料机器人
Fig. 6 DEC HDR, Rovibec, Canada

草和青贮饲料的喂料机器人，可以执行称重、切割、混合、定量和输送五项工作。系统还具备测定纤维长度的功能，切割系统可以将块状或未压制的青贮切割，提高奶牛采食的适口性和便利性，水平搅拌系统可以一次处理50 kg的饲料。ARAMIS II上使用的硬件包括10寸触摸屏面板C70、带集成I/O的紧凑型X20控制器和变频器，X20控制器通过无线局域网进行相互通信。



图7 奥地利Hetwin公司研制的ARAMIS II喂料机器人

Fig. 7 ARAMIS II，Hetwin，Austria

图8所示ATHOS喂料机器人主要针对小型或中型养殖场而研发，使用了7寸触摸屏面板、带集成I/O的X20控制器和ACOPO Sinverter变频器，使用了Automation Studio软件进行管理。机器人配备了预混合装置及切割系统，可在几分钟内将干草或青贮饲料切割成均匀的新鲜混合饲料，通过预先设定的程序，确保所有动物都获得新鲜的混合饲料，通过提高采食量，增加牛奶产量并改善动物健康。在喂料机器人的底部，设置了饲料推料铲，可以保证奶牛的采食需求，减少饲料的浪费。



图8 奥地利Hetwin公司研制的ATHOS喂料机器人

Fig. 8 ATHOS，Hetwin，Austria

2.1.2 国内研究进展

与国外相比，国内研发的轨道式家畜饲喂机器人的种类和应用的数量很少，主要是因为国内养殖企业更依赖人工劳动，特别是在养殖场建设过程中，基础设施和智能装备的资金投入较低，无法实现大规模的智能化、机械化养殖。随着市场散养户的逐渐退出，家畜养殖规模的不断扩大，饲喂机器人等智能化产品的研发和应用水平会有较大提高。目前国内已在奶牛饲喂机器人、羊饲喂机器人、生猪饲喂机器人等方面开展了研究。

在奶牛饲喂机器人方面，方建军[12]研制了一款利用PIC16F877微处理器控制的饲喂机器人，利用霍尔传感器和无线识别装置分别实现自身的精确定位以及奶牛的识别。杨存志等[13]研制的FR-200型饲喂机器人，采用轨道吊挂式，按设置的程序自动运行、定位，能够智能识别奶牛，投喂精确的饲料量，实现每天多次规律性饲喂，及时更改饲喂曲线，可以有效促进奶牛个体的产量和奶产品的质量双提高，成为奶牛养殖的智能化福利养殖装备。为解决精确控制奶牛精料采食的问题，倪志江等[14]研制了基于单片机和无线射频识别技术的智能化个体奶牛精确饲喂机，实现奶牛个体的精确饲喂，牛奶日产量提高4 kg。

在羊饲喂机器人方面，张磊[15]设计出一款磁导引式羊只自动饲喂机器人，根据实际工作环境，对导引路径和工作区间进行调整；根据饲喂区间内羊只的数量和生长周期，实现定时定量的自动饲喂，有效降低了饲喂劳动强度和饲料浪费，推动了国内畜牧业智能化的发展。北京京鹏环宇畜牧公司研制了全自动空中带式饲喂系统、全自动地面带式饲喂系统和智能机器人饲喂系统[16]，具有占地面积小、使用方便灵活等特点，能够满足不同养殖规模用户的需求。饲喂机器人内部结构精密，配方多元化和精细化，保证每只羊采食到适量且营养均衡的饲料，获得最高增重和最佳饲料报酬，可以有效提高羊场的利润。

在生猪饲喂机器人方面，吉林精气神“吉神

黑猪”养殖基地为中国首批猪人工智能养殖基地，基地运用饲喂机器人等先进设备与技术，改变传统人工粗放式饲喂。该基地研制的饲喂机器人利用“猪脸识别”技术，集传统定量杯与自动饲喂器为一体，采用大角度楔形构造设计解决了量杯内饲料结拱的问题，保持稳定的出料速度实现精准出料[17]。系统设定的饲喂曲线实现对生猪群体和个体的智能、精准饲喂，保证每头生猪获得均衡的营养，出栏体重差异缩小到5%以内[18]，减少了饲料浪费，降低了饲喂成本。

2.2 自走式喂料机器人

自走式喂料机器人指的是在养殖场内可以自由行走，具有自动导航和定位功能的一种家畜饲喂机器人。机器人系统主要以单片机为控制核心，利用传感器和通讯模块实现自动行走，与轨道式饲喂机器人相比，饲喂过程更加灵活、便捷，饲喂工作结束后自行回到充电处进行充电。自走式饲喂机器人技术含量更高，不需要前期投入资金进行轨道的铺设，更有利于在家畜养殖场得到推广应用。

2.2.1 国外研究进展

目前，国外已有比较成熟的自走式喂料机器人产品，典型的有荷兰Lely公司的Vector喂料机器人、奥地利Hetwin公司的ARANOM喂料机器人以及奥地利Schauer公司的TRANSFEED ROVER喂料机器人等。自走式机器人具有更好的适应性，能够满足不同条件场地的需求，在家畜养殖企业的应用中取得了较好效果。

荷兰Lely公司研制的Vector[19]喂料机器人是一种独立的电池供电机器人，能够自动喂养自混合饲料，图9为Vector喂料机器人在奶牛场的应用场景。Vector具有测量围栏处饲料高度的功能，决策是否需要补充饲料，保持围栏处始终有足够的新鲜饲料，同时饲料数量不会过多或过少。在喂养频次方面，Lely公司建议通过频繁地进食刺激奶牛的饲料摄入，保持瘤胃pH恒定，利于奶牛的健康和生育，获得更高的牛奶产量。在配套的管理平台，可以显示每头（组）奶牛的平均饲料摄入量，通过调整饲料配方来降低饲料成本，获取更好的收益。

奥地利Hetwin公司研制了一款ARANOM[20]自走式机器人，也是Hetwin公司在2018年汉诺威举办的EuroTier农展会上推出的创新产品。如图10所示，ARANOM以底盘作为基础，使用地面磁感应传感器作为参考点自动移动。ARANOM喂料机器人有ARANOM MIX和ARANOM CUT & MIX两个版本。ARANOM MIX可以进行称重、混合、进料和推料4种操作，配备有4 mm不锈钢双混合器托盘的垂直混合系统，适用于较短的饲料；ARANOM CUT & MIX可以进行称重、切割、混合、进料和推料5种操作，切割能力强，拥有卧式切割混合系统，配有两个可更换8 mm不锈钢混合罐，适用于较长的饲料，如装载机青贮饲料，圆捆青贮饲料和干草。两个版本的机器人均采用电池供电模式，无需轨道供电系统即可实现机器人系统驱动。ARANOM设置有两个轴，通过可充电电池可进行无电运行，其所使用的在高电压下运行的电池技术目前在市场上比较独特[21]。此外，在机器人底部还设置有底盘驱动器，通过放置在地板表面下的小型参考磁铁，控制机器人遵循编程的路线行走。采取无导轨的模式可以节省较多的成本，特别是在大型牧场中安装更加简单便利。

图11为奥地利Schauer公司研制的TRANSFEED ROVER[22]喂料机器人，是一款基于垂直搅拌机的自走式喂料机器人，配备的料仓可以储存3.4 m^3的饲料，能满足饲喂300头奶牛的需求。机器人运行时最大需要7.7 kw的能效，保证设备的节能运行；转弯半径为1.5 m，运行时比较敏捷，占用较小的区域行走；集成了可变速立式搅拌机和切割机，能够较好地混合和粉碎青贮饲料，满足奶牛的采食需求。

瑞典Delaval公司研制的CF1000[23]型饲喂机器人，可以根据肉牛所处的不同生长周期进行科学分配饲料，有效地降低了人工成本[24]。



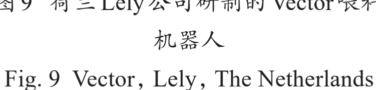

图9　荷兰Lely公司研制的Vector喂料机器人
Fig. 9 Vector, Lely, The Netherlands




图10　奥地利Hetwin公司研制的ARANOM喂料机器人
Fig. 10 ARANOM, Hetwin, Austria


图11　奥地利Schauer公司研制的TRANSFEED ROVER喂料机器人
Fig. 11 TRANSFEED ROVER, Schauer Austria

从以上介绍的研究进展可以发现，国外的喂料机器人的研发主体是设备制造企业，由企业主导机器人的研发与推广，而学术界对于家畜饲喂机器人的研究较少，Rodenburg [25] 对挤奶机器人进行了相关研究，本文不再具体介绍。

2.2.2 国内研究进展

与国外相比，国内自走式喂料机器人的研发还处于初级阶段，查阅到的自走式喂料机器人文献较少，能在养殖场实际应用的则更少。分析这种现象的原因，发现与国外设备制造企业主导机器人的研发与推广不同。国内起主导作用的是政府和科研工作者，但研究的产品很难完全进行产业化生产和推广应用；此外，基于家畜智能设备市场需求较小的现状，设备制造企业无法大规模投入研发，再加上国外进口的设备价格居高不下，造成喂料机器人在养殖场的应用率较低。

在技术研究方面，张帆等 [26] 以STC89C52RC型单片机为控制核心，开发了羊只饲喂机器人的行走控制系统，利用AGV（Automated Guided Vehicle）磁导航传感器和GT-2.4G无线通讯模块，实现了自动行走和手动行走两种控制模式，提高了羊只饲喂机器人的适用性；为避免机器人运行引起羊只的应激反应，孙芊芊等 [27] 对羊只智能饲喂机器人进行了功能与造型设计，功能方面实现智能饲喂、监控反馈和自动行走，造型方面实现材料、形态和颜色的适应性和创新性，有效避免羊只的有害应激反应；王浩鹏 [28] 为优化羊只饲喂机器人的螺旋输送轴结构，使用有限元软件Workbench对螺旋输送轴进行静力学分析，通过动力学分析得到固有频率和振型，应用优化空间填充算法对螺旋输送轴相关参数进行采样分析，建立响应面模型，通过优化得出螺旋输送轴最优参数组合，有效增大了出料系统输送空间，提高了羊只饲喂机器人的单位输送效率。

2.3 国内外喂料机器人比较

技术上看，喂料机器人从轨道式机器人向自走式机器人方向发展。轨道式机器人对养殖场的基础设施建设有一定的要求，需要搭建从饲料车间到养殖场的饲喂机器人行走的轨道，从而实现饲喂机器人按固定路径行走的功能。与轨道式机器人相比，自走式机器人需要具备自主导航和定位功能，提高了机器人控制系统的技术水准和复杂程度。国外的喂料机器人主要是基于计算机操作系统，在机器人上配置了触摸屏面板，实现参数的设置和数据的分析与管理。喂料机器人具备称重、切割、混合、进料和推料5种功能，提高了家畜养殖效率，降低了对劳动力的需求。在国内，喂料机器人的研发和设计引入了一些先进技术，如手机APP的开发使工作人员更及时方便了解相关数据，在动物应激反应方面，通过对机器人造型的材料、颜色、形态等创新尽量避免家畜

有害应激反应。此外，先进传感器技术和模型分析技术不断应用到机器人的研发中，对机器人的智能化发展提供了技术上的支撑。

从应用上看，国外养殖场的装备化发展较早，大部分都配备了轨道式的喂料机器人，自走式机器人的研发已经成熟，应用比例在不断提高，这对于提高企业的生产效率，降低人力成本发挥了一定的作用。国内养殖场的装备化水平整体较低，主要是科研单位和设备企业对饲喂机器人进行研究，在应用方面还处于初级阶段，尚未达到国外农业发达国家的应用水平。为此，2021年，中国工业和信息化部等15部门联合印发了《“十四五”机器人产业发展规划》等相关政策，鼓励科研单位与设备研发企业提高农机装备研制水平，促进国内家畜养殖企业的农机应用。

3　推料机器人

在传统畜牧养殖过程中，牛只等采食时会将草料拱到远离采食区的位置，造成采食量下降以及饲料的浪费，解决办法是人工将饲料推送至采食围栏附近，需要工人长时间、多频次反复劳动，导致饲喂效率偏低，人工成本偏高。为此，国外大型牧场引进了推料机器人。推料机器人是一种在动物采食过程中，将远离饲喂带的饲料自动推送回饲喂带的智能设备。推料机器人的应用可以有效减少牧场劳动力，提高推料及时性，有利于促进动物采食量的增加，显著提高养殖企业的经济效益。

3.1　国外研究进展

目前，国外已经研制出比较成熟的推料机器人产品，其产品功能是将远离家畜采食栏杆的草料推向栏杆，方便家畜采食，同时其携带的料斗会根据饲料的剩余情况进行添加，最大可能满足家畜的采食需求。

奶牛推料机器人一般需要具备自主行走、自主导航和自动推料等功能，主要采用自转式和螺旋式的结构部件，其中，荷兰Lely公司的Juno推料机器人、瑞典Delaval公司的OptiDuoTM推料机器人为螺旋式结构[29-31]。

在机器人的导航定位方面，自转式和螺旋式相比于传统的刮板式具有明显的优势，两种模式的移动更加灵活，机器人本身都可以实现急停和避障功能，具备自动回到充电位的功能。其中，自转式推料机器人的自重直接影响着推料的效果，目前市场上的主流推料机器人的自重在400～700 kg之间；螺旋式推料机器人可以在推料过程中将饲料进行二次搅拌，从而提高饲料的均匀度。

图12为加拿大Valmetal公司研制的PRO-FEED 2020[32]推料机器人，重量为700 kg，采用螺旋钻将青贮饲料或干草进行搅拌，以蓬松饲料的方式来饲喂动物，增加饲料的气味和适口性，可以有效增加动物个体干物质的消耗，从而增加牛奶的产量。机器人设置有10寸的具有防水功能的触摸屏，用户可以在屏幕上操作，也可以通过电脑、手机等进行远程控制。在工作过程中如果出现问题，机器人会发送短信及时通知到工作人员，以进行远程检查设置或系统升级等操作。

图13为加拿大Rovibec公司研制的RANG-ER[33]推料机器人，重量为515 kg，采用地插式磁条设计和电动螺旋裙板，最大推力为180 kg，最小转弯半径为30 cm，每天可以按设定执行最多40次操作，完成工作后，自动回到充电站，直到下一次工作。推料机器人可保证动物整天都能吃到新鲜的食物，提高动物的生产性能，降低饲料的消耗。

图14为奥地利Hetwin公司研制的STALL-BOY[34]推料机器人，主要适用于干草、青贮和绿色饲料，采用创新解决方案配置新鲜饲料软件，设定机器人每2 h向饲料箱靠近5 cm，保证采食动物随时有新鲜的饲料可以采食，最多可以供给500头奶牛。在机器人的上方设置有料仓，存储有少量诱饵饲料，如精料、矿物质或其他类型饲料，在推料过程中投放诱饵饲料促进奶牛的采食。STALLBOY已销往全球16个国家，是该

领域内的两家市场领导者之一。



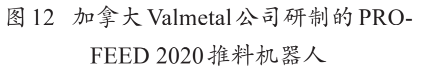


图12　加拿大Valmetal公司研制的PRO-FEED 2020推料机器人

Fig. 12　PRO-FEED 2020, Valmetal, Canada



图13　加拿大Rovibec公司研制的RANGER推料机器人

Fig. 13　RANGER，Rovibec，Canada



图14　奥地利Hetwin公司研制的STALLBOY推料机器人

Fig. 14　STALLBOY，Hetwin，Austria

图15为荷兰Lely公司研制的Juno[35]推料机器人，根据预定义的路线沿进料道自行移动，通过移动设备控制Lely Plus应用程序。为了提高灵活性，机器人配置有多种功能，如智能升降机可最大限度减少磨损，LED灯可增强夜间视野，电动保险杠可提高保护性，这些功能选项主要组合在Flex软件包中。

图16所示奥地利Schauer公司研制的FARO[36]推料机器人可提供两种浓缩饲料，保证动物24 h获得新鲜的饲料，通过增加饲料采食量提高产量，为养殖场节省时间和经济成本。及时将当前状态和日志数据上传到Cloud FarosMart应用程序，用户可舒适方便地操作机器人。

图17所示法国ALB公司研制的COW-BOY[37]推料机器人是一种由植入地面的导线引导的机器人，具有可靠的制导系统。可以设置手动启动和自动启动模式。其中，手动模式主要应用于采取必要行动时，自动模式的周期可以设置为7 d，机器人在7 d中根据设置的不同时间表执行不同的通道。离开充电站后，机器人在工作区上执行前进、推送和抓取等操作。通过设置电动执行期，能够有效地展开刀片，避免刮擦。



图15　荷兰Lely公司Juno推料机器人

Fig.15 Juno, Lely, TheNetherlands



图16　奥地利Schauer公司研制的FARO推料机器人

Fig. 16　FARO，Schauer，Austria



图17　法国ALB公司研制的COW-BOY推料机器人

Fig. 17　COW-BOY，ALB，France

3.2 国内研究进展

在国内，推料机器人的应用还处在起步阶段，奶牛和肉羊等养殖企业实际应用的推料机器人数量还很少，大多数设备制造企业研发的产品还处于样机和试验阶段，投入到市场中的家畜推料机器人也不能完全满足生产需求。

沈治[38]以可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller，PLC）为控制核心，研制了一款能够自动行走的推料机器人，机器人高度为60 cm，自重200 kg，配置有多款传感器，采用

磁引导的导航方式确定推料机器人的运行轨迹，采用自适应PID（Proportional Integral Derivative）控制策略实现行进中的纠偏，最大偏移距离为15.8 mm。推料机器人的有效直径为85 cm，在行进过程中实现了边行走边旋转拢料的功能。通过人机接口（Human Machine Interface，HMI）设置推料路线、运料类型和推送频次，实现了实时监测输出推力和推料阻力的功能，很好地解决了畜牧养殖中用工多和劳动强度大的缺陷，实现了推料的自动化和智能化操作。

焦盼德等[39]研制的道槽合一式的推料机器人，主要由主动行走机构（主动轮、从动轮、伺服电机）、旋转推料机构（主动齿轮、回转支撑、直流电机）、传感器、控制系统及电源等组成，具有自主定位、主动运行、推料饲喂、故障报警及自动充电等功能，可在最小作业宽度为2.5 m的牛舍中央道槽上每天多次智能为牛只补充饲料，最大推料高度为65 cm，最大推料宽度为30 cm，实现每天多次有规律地为奶牛补充饲料。行走机构采用三轮布置的底盘，驱动轮通过驱动轴和联轴器由伺服减速电机进行驱动，通过控制两个驱动轮之间的转速差实现机器人的行走和转向。旋转推料机构中的直流电动机通过联轴器和齿轮轴驱动主动齿轮做旋转运动，带动与主动齿轮相啮合的回转支撑内圈及回转壳做回转运动。机器人采用蓄电池供电模式，可以有效避免废气和噪声污染，代替人工作业，能有效地降低饲喂人员的劳动强度以及原料奶的生产成本。

谢艳等[40]针对奶牛饲喂机器人在运行过程中普遍存在的车轮易卡草问题，应用TRIZ理论分析反应饲喂机器人各组件之间的功能关系，找出饲喂机器人车轮卡草的根本原因。通过增加拨草板可以将草料提前梳理均匀，避免阻力集中；通过隔离圈上下可调节，可解决卡草和行走受阻问题；通过采用螺旋辊推料，增加推料效率和精准性。以上方案主要应用于产品短期功能改进和产品长期规划。

董创[41]使用SolidWorks建立推料机器人各部分三维模型，使用ANSYS2020对螺旋推料机构进行动力学和运动学分析，测试机器人的推料效果及影响因素，通过仿真试验和验证试验，发现在饲料含水量为50%，行进速度为0.3 m/s，螺旋输送器转速为72 r/min时，饲料推送率达98.8%，基本实现了推料工作的无人化、高效化作业，为国内牧场的智能化升级提供了数据支撑。

3.3 国内外推料机器人比较

技术上看，推料机器人从传统的刮板式向自转式和螺旋式方向发展，这两种模式的移动更加灵活。其中，自转式推料机器人的推料效果主要取决于机器人的自重，而螺旋式推料机器人在推料过程中将饲料二次搅拌，提高饲料的均匀度，更有利于家畜的采食。国外研发的推料机器人可以根据实际路况，启用智能升降机从而最大限度减少机器人的磨损，配置的电动保险杠也可以提高保护性。此外，推料机器人本身都具备了急停和避障功能，LED灯增强了机器人夜间工作视野，具备了自动回到充电位进行充电的功能。国内研发的推料机器人，采用磁引导方式确定推料机器人的运行轨迹，采用自适应PID控制策略实现行进中的纠偏，实现了推料的自动化和智能化。通过TRIZ理论分析机器人各组件之间的功能关系，解决了推料机器人车轮卡草导致的行走受阻问题。采用蓄电池供电模式，有效避免了废气和噪声污染。

应用上看，国外养殖场应用的喂料机器人大部分配置了推料功能，即一个机器人实现了喂料、推料两种功能，应用性更高。国内研制的推料机器人，相对功能比较单一，不具备喂料功能，且多数产品还处于研制阶段，在家畜养殖场内应用的比例较低，主要与国内劳动力人口相对较多有一定关系，相信随着国内劳动力红利的逐渐消失，推料机器人等智能设备的应用普及率会逐渐提高。

4 未来发展展望

本文系统地分析了国内外家畜饲喂机器人的研究进展。智能化家畜喂料、推料机器作业已成为智慧农业领域的前沿技术，必将引起新一轮农业生产技术变革，促进中国畜牧产业的转型升级，解决劳动力短缺问题，增强家畜产业的国际竞争力。

（1）在战略规划制定方面，需要紧跟国际形势和技术发展潮流，制定符合中国国情的畜牧机器人发展战略规划。美国、日本和欧盟等国家和组织相继制定了相应地发展规划和资助计划，促进了农业机器人的快速发展。2016年，美国发布了第四版《机器人路线图：从互联网到机器人》，重点关注机械与制动装置、控制与规划、学习与适应、多智能体机器人等领域，美国的“国家机器人计划”（National Robotics Initiative，NRI）目的是支持基础机器人研发，鼓励学术、行业、非盈利组织之间的合作，在基础科学、工程、技术开发和使用方面建立良好的联系。日本于2017年发布了《人工智能产业化路线图》，目标是实现无人农场和机器人的应用。欧盟于2014年启动了《欧盟机器人研发计划》（SPARC），目标是在农业、健康等领域应用中提供机器人，2015年发布了机器人技术多年路线图，旨在为发展欧洲的机器人技术提供一份通用框架，并为市场相关的技术开发设定一套目标，具体涉及系统开发集成、人机交互、导航与认知等6个技术集群。

与传统畜牧机械相比，畜牧机器人具有更高的智能化、信息化水平，具有较高的数据价值和自主决策能力，可以推动畜牧领域技术变革，提高农业生产效率，降低人力运营成本。畜牧机器人作为农业机器人中的一类，在中国推动“智慧农业”发展的背景下，其战略规划和发展态势持续向好。2017年，国务院发布《新一代人工智能发展规划》，中国开始研制农业智能传感与控制、智能化农业装备，建设智能牧场。2018年，国务院发布《关于加快推进农业机械化和农机装备产业转型升级的指导意见》，提出到2025年畜牧养殖机械化率达到50%的指标，推动了畜牧设备制造企业投入到畜牧机器人的研发。2020年，中国农业农村部发布了《数字农业农村发展规划》，加快农业人工智能研发，推进畜牧业智能化，实施农业机器人发展战略，开展核心关键技术和产品攻关，重点攻克运动控制、位置感知、机械手控制等关键技术，研发适应性强、性价比高和智能决策强的新一代农业机器人。《“十四五”机器人产业发展规划》提出重点研制畜禽喂料等农业机器人。畜牧机器人作为新兴技术的重要载体和现代产业的关键装备，引领畜牧产业数字化发展和智能化升级，作为人类生产生活的重要工具和应对人口老龄化的得力助手，将持续推动畜牧生产水平提高，促进经济社会可持续发展。上述战略规划的制定，为中国畜牧机器人的发展起到了政策保障作用。

（2）在核心技术发展方面，需要更多关注信息感知、智能传感器与深度学习算法的融合，真正实现人机交互。欧盟将协作机器人产业链分为上、中、下游三个环节，上游聚焦机械、感测与控制等组件，提升安全精度和操作灵活，实现有效的生产服务；中游聚焦机器人本体的生产制造；下游加强应用模块的集成，形成综合解决方案，发挥机器人自由度高、功能多的优势，推动智能制造革命。在畜牧机器人发展的核心技术方面，传感技术、自动化技术和信息技术主要围绕实现非结构环境下的信息获取及应用，提升从业者对畜牧生产系统的智慧管控能力。目前，中国研发的畜牧机器人还存在畜牧工艺与机械设备结合不够紧密，生产成本较高，稳定性较差，故障率较高，智能化程度较低，核心算法缺失等问题，亟需在核心技术上取得突破。要加强核心技术攻关，突破畜牧机器人系统开发等共性技术，建立健全创新体系，加快畜牧机器人成果转化。

针对家畜饲喂机器人研发及运行过程中出现的问题，可以应用TRIZ理论进行分析。TRIZ理论是阿奇舒勒（Altshuller）于1946年创建的一种发明问题的解决理论，是一种基于知识的、面

向人的发明问题解决系统化方法学，其目标是完全解决矛盾，获得最终的理想解，被很多研究者应用。在机器人控制器调整行走姿态方面，经典PID控制器的时变、非线性系统中的误差普遍存在，解决方法是采用自适应的PID控制策略，这是一种将自适应控制思想与常规PID控制器相结合形成的自校正PID控制技术[42]，通过输出反馈，调整参数适应控制器的变化，是一种比较理想的控制方法[43]。在机器人轨迹规划方面，强化学习模型具有较高的智能水平，无需人为调整参数，能够提高系统的跟踪性能，增强机器人灵活性和动力学模型的变化鲁棒性；神经网络预测模型具有较高的补偿精度，通过在空间中对机器人进行采样，获取目标点的位姿信息对误差的影响，建立定位误差预测模型，实现对误差的预测和补偿[44]。在动态避障方面，基于随机采样的动态避障算法，无需将障碍物映射到构型空间，搜索速度更快，更适合动态避障路径规划，是一种概率完备且具有良好扩张性动态规划方法[45]。

（3）在产业发展趋势方面，中国国内畜牧机器人的需求量将保持较高的增长率，亟需加强创新，发挥科研机构和设备研发企业的创新主体作用。研发智能化机器人将是畜牧业发展的必然方向，其所具有的决策分析能力将显著提高，特别是较好地适应养殖场的复杂环境，具有较高的自行走能力和避障能力，操作更加简单便捷，实现智能化、精准化作业。加强畜牧机器人的技术创新和材料创新，加强深度学习、人机共融和视觉反馈等技术的应用。当前，中国畜牧企业规模分化严重，在市场竞争降本增效的需求下，促进畜牧业结构化程度提高，推动畜牧龙头企业的装备升级。牧原等生猪养殖企业，已启动畜牧机器人的规模化、自动化智慧升级，构建智能猪场及物联网养猪管理一体化系统，依托养猪机器人等智能设备，为猪场提供科学的养猪服务。

畜牧机器人的性能取决于每个部件的工作性能，更取决于多个系统之间的融合，虽然已经开展了大量研究，但是还有很大的发展空间。为此，实现畜牧机器人系统间的协调合作仍将是未来研究的热点。目前，机器人的结构以刚性结构为主，存在较大的机械安全隐患，还需加强机器人驱动柔性以及机器人新材料的研发和应用，实现畜牧机器人刚性与柔性之间的转换，消除存在的安全隐患。此外，在畜牧机器人的人机交互方面，通过引进先进的科学技术，提高机器人的友好性和智能程度，提高机器人的自身学习能力，也将是未来发展的必然趋势。

参考文献：

[1] 赵春江. 智慧农业发展现状及战略目标研究[J]. 智慧农业, 2019, 1(1): 1-7.
ZHAO C. State-of-the-art and recommended developmental strategic objectives of smart agriculture[J]. Smart Agriculture, 2019, 1(1): 1-7.

[2] 罗锡文, 区颖刚, 赵祚喜, 等. 农用智能移动作业平台模型的研制[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 83-85.
LUO X, OU Y, ZHAO Z, et al. Research and development of intelligent flexible chassis for precision farming[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(2): 83-85.

[3] 农业农村部畜牧兽医局, 中国奶业协会. 2021中国奶业统计摘要[M]. 北京: 中国奶业协会, 2021: 26.

[4] Trioliet. Triomatic HP suspended feeding robot [EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. trioliet. com/products/automatic-feeding-systems/feeding-robot/suspended-feeding-robot.

[5] Trioliet. Triomatic WP wheel-driven feeding robot[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. trioliet. com/products/automatic-feeding-systems/feeding-robot/wheel-driven-feeding-robot-triomatic.

[6] Rovibec. ROVER FEEDING ROBOT [EB/OL]. [2022-3-10]. https://rovibecagrisolutions.com/en/produit/feeding_robot_autonomous_rover.

[7] AgriEXPO. ROV[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www.agriexpo.cn/prod/rovibec-agrisolusions/product-172425-9285.html.

[8] AgriEXPO. DEC SR[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. agriexpo. cn/prod/rovibec-agrisolusions/product-172425-9281.html.

[9] AgriEXPO. DEC HDR[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. agriexpo. cn/prod/rovibec-agrisolusions/product-172425-9271.html.

[10] AgriEXPO. ARAMIS II[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. agriexpo. cn/prod/hetwin-automation-systems-gmbh/product-171829-8972.html.

[11] AgriEXPO. ATHOS[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. agriexpo. cn/prod/hetwin-automation-systems-gmbh/product-171829-63317.html.

[12] 方建军. 饲喂机器人的研究与开发[J]. 农机化研究, 2005(1): 158-160.
FANG J. Study and development of feeding robots[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005

(1): 158-160.
[13] 杨存志, 李源源, 杨旭, 等. FR-200型奶牛智能化精确饲喂机器人的研制[J]. 农机化研究, 2014, 36(2): 120-122, 126.
YANG C, LI Y, YANG X, et al. The Development of Cow Intelligent Precise Feeding Robot of FR-200[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(2): 120-122, 126.
[14] 倪志江, 高振江, 蒙贺伟, 等. 智能化个体奶牛精确饲喂机设计与实验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 205-209.
NI Z, GAO Z, MENG H, et al. Design and experiment on intelligent precising feeding machine for single dairy cow[J]. Transactions of the CSAM, 2009, 40(12): 205-209.
[15] 张磊. 羊只饲喂机器人行驶系统及其导引控制系统设计[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
ZHANG L. Sheep feeding robot driving system and its guidance control system design[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2018.
[16] 京鹏畜牧. 机器人智能饲喂[EB/OL]. [2022-3-10]. http://www. jpxm. com/index. php? c=content&a=show&id=373.
[17] 采编部, 王旭. 智慧化养殖管理 打造山黑猪高效养殖模式——吉林精气神有机农业股份有限公司典型案例介绍[J]. 中国畜牧业, 2021(2): 16-17.
[18] "猪脸识别"[J]. 农家之友, 2019(7): 34.
[19] Lely. Lely vector [EB/OL]. [2022-3-10]. https://www.lely.com/us/solutions/feeding/vector/.
[20] AgriEXPO. ARANOM[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. agriexpo. cn/prod/hetwin-automation-systems-gmbh/product-171829-123029.html.
[21] 弗戈工业传媒. 贝加莱: 智慧谷仓[EB/OL]. [2022-3-10]. https://mma. vogel. com. cn/c/2020-04-15/1012819.shtml.
[22] AgriEXPO. FARO[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. agriexpo. cn/prod/schauer-agrotronic-gmbh/product-172455-108347.html.
[23] DeLaval. DeLaval calf feeder CF1000S wins 2017 Dairy Herd Management Innovation Award[EB/OL]. [2022-3-10]. https://corporate. delaval. com/2017/10/delaval-calf-feeder-cf1000s-wins-2017-dairy-herd-management-innovation-award/.
[24] 马为红, 薛向龙, 李奇峰, 等. 智能养殖机器人技术与应用进展[J]. 中国农业信息, 2021, 33(3): 24-34.
MA W, XUE X, LI Q, et al. Recent advances in intelligent breeding robot technology and application[J]. China Agricultural Informatics, 2021, 33(3): 24-34.
[25] RODENBURG J. Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow[J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(9), 7729-7738.
[26] 张帆, 李海军, 雷禾雨, 等. 羊只饲喂机器人行走控制系统的设计[J]. 农业装备技术, 2020, 46(1): 35-39.
ZHANG F, LI H, LEI H, et al. Design of feeding robot walking system for sheep[J]. Agricultural Equipment & Technology, 2020, 46(1): 35-39.
[27] 孙芊芊, 李海军, 宣传忠, 等. 基于羊只应激反应的智能饲喂机器人功能与造型研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2019, 40(5): 60-64.
SUN Q, LI H, XUAN C, et al. Research on function and modeling of intelligent feeding robot based on sheep stress response[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2019, 40(5): 60-64.
[28] 王浩鹏. 羊只饲喂机器人螺旋输送轴结构优化[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
WANG H. Structure optimization of screw feeding shaft for sheep feeding robot[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020.
[29] 吕占民, 金红伟, 王明磊. 奶牛规模养殖机械化先进适用装备概述(一)[J]. 中国奶牛, 2021(10): 39-43.
LYU Z, JIN H, WANG M. Overview of advanced and applicable equipment for scale breeding mechanization of dairy cows(I) [J]. China Dairy Cattle, 2021(10): 39-43.
[30] 吕占民, 金红伟. 奶牛规模养殖机械化先进适用装备概述(二)[J]. 中国奶牛, 2021(11): 44-48.
LYU Z, JIN H. Overview of advanced and applicable equipment for scale breeding mechanization of dairy cows (II)[J]. China Dairy Cattle, 2021(11): 44-48.
[31] 吕占民, 金红伟. 奶牛规模养殖机械化先进适用装备概述(三)[J]. 中国奶牛, 2021(12): 44-47.
LYU Z, JIN H. Overview of advanced and applicable equipment for scale breeding mechanization of dairy cows (III)[J]. China Dairy Cattle, 2021(12): 44-47.
[32] AgriEXPO. PRO-FEED 2020[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. agriexpo. cn/prod/valmetal/product-170516-102839.html.
[33] Rovibec. Ranger feed pusher[EB/OL]. [2022-3-10]. https://rovibecagrisolutions.com/en/produit/ranger-feed-pusher.
[34] AgriEXPO. Stallboy feed[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. agriexpo. cn/prod/hetwin-automation-systems-gmbh/product-171829-8977.html.
[35] Lely. Lely juno[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www.lely.com/cn/solutions/feeding/juno/.
[36] AgriEXPO. Faro[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www. agriexpo. cn/prod/schauer-agrotronic-gmbh/product-172455-108349.html.
[37] AgriEXPO. Cow-boy[EB/OL]. [2022-3-10]. https://www.agriexpo.cn/prod/alb-innovation/product-181188-81416.html.
[38] 沈治. 自适应PID控制的自动推料机器人的设计[J]. 机械设计与制造, 2020(10): 261-264, 269.
SHEN Z. Design of automatic feeding robot with adaptive PID control[J]. Machinery Design & Manufacture, 2020(10): 261-264, 269.
[39] 焦盼德, 贺成柱, 杨军平. 奶牛智能推料机器人的研制[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(1): 74-77.
JIAO P, HE C, YANG J. Development and manufacture of intelligent push feed robot for cows[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(1): 74-77.
[40] 谢艳, 张子龙, 龚荣虎, 等. 基于TRIZ理论的奶牛饲喂机器人创新设计[J]. 机械设计与研究, 2021, 37(5): 31-34, 52.
XIE Y, ZHANG Z, GONG R, et al. Innovative design of cow feeding robot based on TRIZ theory[J]. Ma-

chine Design & Research, 2021, 37(5): 31-34, 52.
[41] 董创 . 牧场智能推料机器人关键技术研究与样机研发[D]. 天津: 天津农学院, 2021.
DONG C. Key technology research and prototype development of pasture intelligent material pushing robot [D]. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2021.
[42] 王述彦, 师宇, 冯忠绪 . 基于模糊 PID 控制器的控制方法研究[J]. 机械科学与技术, 2011(1): 166-172.
WANG S, SHI Y, FENG Z. Research on control method based on fuzzy-PID controller[J]. Mechanical Science and Technology, 2011(1): 166-172.
[43] 龚兰芳, 许伦辉 . 四旋翼机器人运动控制与自适应PID 控制算法设计[J]. 机械设计与制造, 2018(12): 64-67.
GONG L, XU L. Design of motion control and adaptive PID control algorithms for four-rotor robot[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2018(12): 64-67.
[44] 董理, 杨东, 鹿建森 . 工业机器人轨迹规划方法综述 [J/OL]. 控制工程: 1-12[2022-05-11]. DOI: 10.14107/j.cnki.kzgc.20210654.
[45] TAHIR Z, QURESHI A H, AYAZ Y, et al. Potentially guided bidirectionalized rrt* for fast optimal path planning in cluttered environments[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2018, 108: 13-27.

Research Progress and Outlook of Livestock Feeding Robot

YANG Liang, XIONG Benhai*, WANG Hui, CHEN Ruipeng, ZHAO Yiguang

(*State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193*, China*)

Abstract: The production mode of livestock breeding has changed from extensive to intensive, and the production level is improved. However, low labor productivity and labor shortage have seriously restricted the rapid development of China's livestock breeding industry. As a new intelligent agricultural machinery equipment, agricultural robot integrates advanced technologies, such as intelligent monitoring, automatic control, image recognition technology, environmental modeling algorithm, sensors, flexible execution, etc. Using modern information and artificial intelligence technology, developing livestock feeding and pushing robots, realizing digital and intelligent livestock breeding, improving livestock breeding productivity are the main ways to solve the above contradiction. In order to deeply analyze the research status of robot technology in livestock breeding, products and literature were collected worldwide. This paper mainly introduced the research progress of livestock feeding robot from three aspects: Rail feeding robot, self-propelled feeding robot and pushing robot, and analyzed the technical characteristics and practical application of feeding robot.The rail feeding robot runs automatically along the fixed track, identifies the target animal, positions itself, and accurately completes feed delivery through preset programs to achieve accurate feeding of livestock. The self-propelled feeding robot can walk freely in the farm and has automatic navigation and positioning functions. The system takes single chip microcomputer as the control core and realizes automatic walking by sensor and communication module. Compared with the rail feeding robot, the feeding process is more flexible, convenient and technical, which is more conducive to the promotion and application of livestock farms. The pushing robot will automatically push the feed to the feeding area, promote the increase of feed intake of livestock, and effectively reduce the labor demand of the farm. By comparing the feeding robots of developed countries and China from two aspects of technology and application, it is found that China has achieved some innovation in technology, while developted countries do better in product application. The development of livestock robot was prospected. In terms of strategic planning, it is necessary to keep up with the international situation and the trend of technological development, and formulate the agricultural robot development strategic planning in line with China's national conditions. In terms of the development of core technologies, more attention should be paid to the integration of information perception, intelligent sensors and deep learning algorithms to realize human-computer interaction. In terms of future development trends, it is urgent to strengthen innovation, improve the friendliness and intelligence of the robot, and improve the learning ability of the robot. To sum up, intelligent livestock feeding and pushing machine operation has become a cutting-edge technology in the field of intelligent agriculture, which will surely lead to a new round of agricultural production technology reform, promote the transformation and upgrading of China's livestock industry. .

Key words: livestock feeding; feeding robot; pushing robot; artificial intellignce; digital breeding